

【特許請求の範囲】

【請求項1】配線層を有し、室温から400℃における熱膨張係数が9～14ppm/℃の絶縁基板と、該絶縁基板の表面に搭載された半導体素子と、前記絶縁基板に接合された放熱体とを具備してなる半導体装置において、前記放熱体が、銅を30～80重量%と、残部が室温から400℃における熱膨張係数が6ppm/℃以下の低熱膨張金属と、焼結助剤金属との焼結体からなるとともに、前記絶縁基板との熱膨張差が±0.5ppm/℃であることを特徴とする半導体装置。

【請求項2】前記絶縁基板が、有機樹脂を主成分とする複合材料またはガラス—セラミックス複合材料からなる請求項1記載の半導体装置。

【請求項3】前記配線層が銅からなる請求項1または請求項2記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体素子が搭載されるとともに、熱放散のための放熱体を具備した半導体装置に関する。

【0002】

【従来技術】半導体素子、とりわけLSIは高集積化、高速化のために発熱が増加する傾向にある。これら発生した熱が半導体素子内に蓄積されると、半導体素子内の回路の誤動作を発生させたり、さらには半導体回路自身を破壊したりするという問題がある。そこで、従来より、半導体素子から発生する熱を外部に放散するための放熱体が設けられている。

【0003】一方、半導体素子を搭載する半導体装置は、絶縁基板の内部またはその表面に配線層が形成され、さらに絶縁基板の表面に半導体素子が搭載されている。高集積半導体素子を搭載する半導体装置においては、その回路の信頼性の点から絶縁基板として、熱伝導率が約20W/mKのアルミナ(Al₂O₃)などのセラミックスが最も多用されている。熱放散が必要な場合には、上記の半導体装置にさらに、放熱体を取り付けられる。

【0004】このような放熱体材料としては、高熱伝導性を有することが求められるが、熱伝導率の高い材料としては、銅(熱伝導率393W/m・K)等が知られているが、放熱体を取り付ける絶縁基板との熱膨張差が大きいと基板にクラックが発生したり、半導体素子の封止構造における気密性が損なわれるため、放熱体として、約10重量%の銅を含む、銅—タングステン焼結体(熱伝導率 約180W/mK、熱膨張率 約7ppm/℃)が最も広く用いられている。

【0005】一方、半導体のさらなる高速化、高周波数化にともない、半導体素子と外部回路の間で高速に信号をやりとりする必要性が増している。そのためには半導体装置内を信号が伝送される際の損失をより小さくする

必要があるが、従来より、アルミナ質セラミックスとの同時焼成により基板を作製する場合には、配線層を高融点金属のタングステンあるいはモリブデン等により形成されるが、このタングステンやモリブデンは、導体抵抗が高く、特に高周波においては導体抵抗による損失が大きいという問題がある。

【0006】そこで、最近では、導体として良電気伝導性を有する銅、金などの低抵抗金属を使用する半導体装置が増加している。これにともない、絶縁基板材料として、アルミナ質セラミックスに代わり、有機樹脂を主成分とする材料や、これらの低抵抗金属と同時焼成が可能な材料として、有機樹脂を主成分とする複合材料や焼成温度が1000℃以下のガラス—セラミックス複合材料が多く用いられつつある。

【0007】加えて、半導体装置を有機樹脂を主成分とする外部電気回路基板に実装した場合、特に半導体装置が大集積化により大型化した場合、半導体装置における絶縁基板と、外部電気回路基板との熱膨張差に起因して半導体装置の実装時あるいは実装後の過酷な使用条件下で、熱サイクルが付加された時に、半導体装置と外部電気回路基板との電気的接続不良が発生するという問題が提起されている。

【0008】このような問題に対しては、半導体装置における絶縁基板の熱膨張特性を、有機樹脂を主成分とする外部電気回路基板の熱膨張係数に近似させることが提案されている。通常、外部電気回路基板の熱膨張係数は9～14ppm/℃程度であるため、絶縁基板としても同様に9～14ppm/℃程度が要求される。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】熱膨張係数が9～14ppm/℃程度の絶縁材料としては、アルミナ質セラミックスでは得ることが難しいため、ガラスセラミックスや有機樹脂を主成分とする複合材料により形成することが望ましいが、このような有機樹脂を主成分とする複合材料やガラス—セラミックス複合材料は、アルミナ質セラミックスに比較して熱伝導率が数W/m・k程度と低いために、半導体装置の絶縁基板として用いた場合には、搭載する半導体素子からの発熱を十分に放散することができないために、高集積化、高速化された半導体素子を搭載する半導体装置の絶縁基板として適用できないものであった。

【0010】また、熱放散性を改善する方法としては、高熱伝導性を有する放熱体を取り付けることが望まれるが、従来から最も多用されている約10重量%銅を含む銅—タングステン焼結体では、有機樹脂を主成分とする複合材料やガラス—セラミックス複合材料からなる絶縁基板とは熱膨張係数が大きく異なるために、熱膨張差に起因する応力によって基板にクラックや反りが発生する等の問題があった。

【0011】しかも、ガラスセラミックス複合材料を配

線基板とする場合は、アルミナセラミックスの場合と同様に靱性が低いので、熱膨張率が一致しないとクラックが生じる可能性が高い。また有機樹脂を主成分とする複合材料においては、材料の靱性は高いものの、逆に剛性が低いために、熱膨張差に起因する応力によってパッケージの反りが生じるなどの不具合が発生する。

【0012】このような熱膨張係数が $9 \sim 14 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の高い熱膨張特性を有する絶縁基板を具備する半導体装置における熱放散性の改善については、具体的に検討されておらず、まして、熱膨張係数が $9 \sim 14 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の高い熱膨張特性を有する絶縁基板に取り付ける放熱体についても具体的に何ら検討されていない。

【0013】従って、本発明は、熱膨張係数が $9 \sim 14 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の高い熱膨張特性を有する絶縁基板を具備する半導体装置における熱放散性を改善した半導体装置を提供することを目的とするものである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記の問題点に対して、検討を重ねた結果、有機樹脂を主成分とする複合材料やガラスセラミックス複合材料の強度がこれまでのアルミナ質セラミックスに比較して小さいことに起因し、この絶縁基板に放熱体を取り付ける場合、放熱体と絶縁基板との熱膨張差を小さく制御することが必要であること、また、絶縁基板の熱膨張特性との差が小さく、しかも高熱伝導性を有する材料としては、銅を比較的多量に含み、これと室温から熱膨張係数が小さい材料および焼結助剤と組み合わせた材料が最もよいことを知見した。

【0015】即ち、本発明は、配線層を有し、且つ室温から 400°C における熱膨張係数が $9 \sim 14 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の絶縁基板と、該絶縁基板の表面に搭載された半導体素子と、前記絶縁基板に接合された放熱体とを具備してなる半導体装置において、前記放熱体が、銅を $30 \sim 80$ 重量%と、残部が室温から 400°C における熱膨張係数が $6 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 以下の低熱膨張金属と、焼結助剤金属との焼結体からなるとともに、前記絶縁基板との熱膨張差が $\pm 0.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ であることを特徴とするものであり、特に、前記絶縁基板が、有機樹脂を主成分とする複合材料やガラスセラミックス複合材料からなり、前記配線層が銅からなること特徴とするものである。

【0016】

【作用】本発明によれば、半導体素子を搭載した半導体装置において、絶縁基板の室温から 400°C における熱膨張係数を $9 \sim 14 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ に制御することにより、有機樹脂を主成分とする外部電気回路基板との熱膨張差を小さくできるために、半導体装置をこの外部電気回路基板に実装する時、あるいは実装後に熱サイクルが付与された場合においても、熱膨張差に起因する接続不良を生じることがなく、高信頼性の実装が可能となる。特に、半導体装置の外部電気回路基板への接続端子がリー

ドピンでなく、半導体装置の裏面に形成された半田等や金具からなり、半田等により表面実装するような半導体装置の場合、特に熱膨張差による応力の発生が顕著であるため、特に上記のような高熱膨張係数の絶縁基板を用いることが有効である。

【0017】また、本発明によれば、上記のような高熱膨張係数の絶縁基板が有機樹脂を主成分とする複合材料やガラスセラミックス複合材料から構成した場合、熱伝導率が低いために放熱体を取り付けることが必須となるが、このような放熱体として、銅を $30 \sim 80$ 重量%と、残部が室温から 400°C における熱膨張係数が $6 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 以下の低熱膨張金属と、焼結助剤金属との焼結体により構成する。このように銅の含有量を高めることにより放熱体の熱伝導率を高めることができ、半導体素子の熱の放熱を高めることができる。

【0018】また、絶縁基板が有機樹脂を主成分とする複合材料やガラスセラミックス複合材料は、それ自体と強度が大きいために熱膨張差に起因する応力によって、容易にクラックが発生したり、封止構造の気密性が損なわれる可能性が高い。

【0019】そこで、放熱体と前記絶縁基板との熱膨張差を $\pm 0.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 以下に制御することにより、応力の発生を抑制し、半導体装置の信頼性を高めることができるのである。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明の半導体装置と、外部電気回路基板への実装構造の概略図を図1に示した。図1によれば、半導体装置1の絶縁基板2の内部には配線層3が形成され、配線層3の一部はスルーホール4として形成される。また、絶縁基板2の一部には、キャビティ5が形成され、キャビティ5の内部には半導体素子が収納される。キャビティ5は、蓋体6により気密に封止されている。

【0021】また、この半導体装置1には放熱体7が取り付けられている。この放熱体7は、絶縁基板2に接着剤8により接合され、放熱体7の表面には半導体素子9が直接取り付けられており、半導体素子9から発生する熱を放熱する。

【0022】なお、半導体装置1の下面には、外部電気回路基板と接続するための端子電極10が形成されている。なお、この端子電極10は、半導体素子9と配線層3を通じて電気的に接続されている。この端子電極10は、図1によれば、半田からなるボール状電極である。

【0023】この半導体装置1を外部電気回路基板11に実装するには、外部電気回路基板11の表面に形成された外部配線層12と半田13により実装される。また、この外部電気回路基板11は、有機樹脂を主体とする複合材料から構成され、具体的には、ガラスエポキシ銅張基板等からなり、その熱膨張係数は、室温から 400°C において $9 \sim 14 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 程度である。

【0024】本発明によれば、上記の半導体装置において、絶縁基板2は、室温から400℃における熱膨張係数が9~14ppm/℃の絶縁体から構成される。この絶縁基板2の熱膨張係数を上記の範囲に限定したのは、この範囲から逸脱すると、外部電気回路基板11との熱膨張差により半導体装置の実装時、または実装後の熱サイクル付加時に電氣的接続不良が生じる場合があり、信頼性を損ねるためである。

【0025】このような熱膨張特性を有する材料としては、熱膨張係数が上記の範囲を満足するものであれば、有機樹脂を主成分とする複合材料、セラミックス、ガラスセラミックス複合材料のいずれであってもよいが、半導体装置の配線層を銅配線により構成する場合には、とりわけ、有機樹脂を主成分とする複合材料やガラスセラミックス複合材料が好適である。

【0026】このような特性を有する有機樹脂を主成分とする複合材料としては、ガラスエポキシ系複合材料等が挙げられる。なお、この有機樹脂を主成分とする複合材料は、それ自体の靱性が低いことから、内部に配設される銅配線層の配線密度によって、熱膨張係数が変化

する。
【0027】一方、上記のような特性を有するガラスセラミックス複合材料としては、特願平7-195206号、特願平7-283832号にて提案したように、 Li_2O を5~30重量%の割合で含有するリチウム珪酸ガラスや Na_2O 、 Al_2O_3 を含有するソーダアルミニウム珪酸ガラス、室温から400℃までの熱膨張係数が6ppm/℃以上のセラミックフィラーとから構成されるものが挙げられる。室温から400℃までの熱膨張係数が6ppm/℃以上のセラミックフィラーとしては、フォスフェイト、クリストバライト、クウォーツ、スピネル、ネフェリン、アルミナ、ベタライト、エンスタタイト等が挙げられる。

【0028】また、配線層としては、W、Mo、Mo-Mn、Cu、Ag、Au等が挙げられるが、配線層としての信頼性の点、および高周波用としてはCuが最も望ましく、配線層は、絶縁基板と同時に焼成によって形成されることが多層化の上で望ましい。

【0029】一方、放熱体としては、銅を30~80重量%と、残部が室温から400℃における熱膨張係数が

* 6ppm/℃以下の低熱膨張金属と、焼結助剤金属との合金からなる。また、前記絶縁基板が、有機樹脂を主体する複合材料や、ガラスセラミックス複合材料からなる場合、それ自体の熱伝導率は低いために半導体装置としての放熱体の熱伝導性はより高いものが要求される。従って、望ましくは、放熱体の熱伝導率は150W/m・k以上、特に200W/m・k以上であることが望ましい。

【0030】なお、銅の含有量を上記の範囲に限定したのは、30重量%より少ないと、150W/m・k以上の熱伝導率が得られずに本発明の半導体装置に対する放熱体としての機能が不十分となり、80重量%を越えると熱膨張係数を上記の範囲に制御することが困難となるためである。

【0031】また、熱膨張係数が6ppm/℃以下の金属は、銅の熱膨張係数が非常に大きいために、放熱体の熱膨張係数を上記のように調整するための必須の成分であり、6ppm/℃より大きい金属を選択すると、熱膨張係数を上記の範囲に制御するためには、銅の量を減らさねばならないために、放熱体としての熱伝導率を高めることができないためである。なお、焼結助剤は主成分に応じて適切に選択すれば良い。

【0032】例えば、銅に対して、熱膨張係数が6ppm/℃以下の金属としてタングステンを選択した場合、焼結助剤金属としては、鉄、ニッケル、コバルトなどの鉄族元素が最適である。その他、熱膨張係数が6ppm/℃以下の金属としては、モリブデン等が挙げられ、焼結助剤金属としては、Ni等の鉄族金属等が最適である。

【0033】本発明における放熱体は、上記金属成分の組成によって、放熱体焼結体の室温から400℃までの熱膨張係数の前記絶縁基板との熱膨張差が±0.5ppm/℃、特に±0.3ppm/℃以下となるように調整される。本発明の放熱体は、粉末冶金により作製されるものであり、各金属成分がそれぞれ粒子分散した組織から構成されるために、これらの複合材料の熱膨張係数 α は、一般に次の数1で容易に計算することができる。

【0034】

【数1】

* 40

7

8

$$\alpha a + (\alpha b - \alpha a) Vb [Ka(4Ga + 3Kb)^2 + (Kb - Ka)(16Ga^2 + 12GaKb)]$$

$$\alpha =$$

$$[(4Ga + 3Kb) \{4VbGa(Kb - Ka) + 3KaKb + 4GaKa\}]$$

式中、 αa 、 αb : 個々の材料の熱膨張率

Ka 、 Kb : 個々の材料の体積弾性率

Ga 、 Gb : 個々の材料の剛性率

Va 、 Vb : 個々の材料の体積分率

【0035】また、個々の材料の体積弾性率、剛性率が著しく異なることのない場合には、次の数2で近似することができる。

【0036】

【数2】

$$\alpha = \alpha a + (\alpha b - \alpha a) Vb$$

【0037】この数1あるいは数2あるいはこの式に準じた実験式を作製することにより、熱膨張係数を絶縁基板に正確に一致させることのできる放熱体材料を容易に決定することができる。

【0038】なお、放熱体を半導体装置に絶縁基板に取り付ける方法としては、エポキシ系の有機樹脂による接着や、半田による接合等でも可能である。また、放熱体に半導体素子を取り付ける場合には、放熱体の熱膨張係数が大きくても、半導体素子自体が小さいために熱膨張差による応力も小さくなく、問題となることはないが、信頼性の点からは、エポキシ系、ポリイミド系の有機系の樹脂の接着剤あるいはこれにAgなどの金属を配合したものにより接着することにより、応力が発生した場合においても接着層により応力が緩和される。

【0039】上記の実施の形態では、接続端子がボール状の半田により形成される場合について述べたが、上記以外にリードレスチップキャリア、クワッドフラットパッケージのように、外部電気回路基板に対して表面実装

* されるタイプの接続端子であってもよく、また、ピングリッドアレイの様にリードタイプの接続端子であってもよい。

【0040】

【実施例】本発明による図1に示す半導体装置を具体的に製造した。なお、基板の外辺寸法は5cm×5cm、キャビティ内寸法 2cm×2cm、基板厚み3mmの寸法とし、放熱体は3cm×3cm×5mmの寸法とした。

【0041】（絶縁基板）絶縁基板としては、ガラスエポキシ複合材料を絶縁基板として、Cuを内部配線として、絶縁基板内への配線密度の異なる複数の基板を作製し、室温から400℃までの熱膨張係数が12.7ppm/℃、13.1ppm/℃、13.7ppm/℃の3種類の配線基板を作製した。

【0042】また、ガラスセラミック複合材料として、表1に示すような種々の材料を用いた。そして、これらの組成物を用いてドクターブレード法によりグリーンシートを作製した後、シートの表面に銅ペーストを塗布して複数層積層した後、900～1000℃で同時焼成した。また、基板の底面には、内部配線層との接続された、高温半田からなるボール状の端子電極を取付けた。

【0043】

【表1】

ガラスセラミック材料	ガラス組成 (重量%)	組成 (体積%) ガラス	フィラー	熱膨張係数 (ppm/℃)	焼成温度 (℃)
①	78% SiO ₂ -15%B ₂ O ₃ -5%Na ₂ O-2%Al ₂ O ₃	30	7+8ステライト 70	7.5	1000
②	74% SiO ₂ -14%Li ₂ O-4%Al ₂ O ₃ -2%P ₂ O ₅ -2%K ₂ O-2%ZnO-2%Na ₂ O	40	7+8ステライト エンタライト 50 10	9.5	920
③	60% SiO ₂ -15%Na ₂ O-5%Al ₂ O ₃ -7%B ₂ O ₃ -5%K ₂ O-6%TiO ₂ -2%ZrO ₂	50	7+8ステライト 50	11.5	850
④	78% SiO ₂ -13%Li ₂ O-4%Al ₂ O ₃ -2%P ₂ O ₅ -2%K ₂ O-1%Na ₂ O	35	7+8ステライト クォーツ 50 15	14.0	1000
⑤	74% SiO ₂ -14%Li ₂ O-4%Al ₂ O ₃ -2%P ₂ O ₅ -2%K ₂ O-2%ZnO-2%Na ₂ O	80	クォーツ 20	17.2	950

【0044】（放熱体の作製）放熱体として、銅、低熱 ※ ※ 膨張率の金属としてタングステン、焼結助剤金属として

ニッケルを選択した。銅粉末とタングステン粉末とニッケル粉末を所定量だけ調合し、粉末100重量部に対してナイロンボールを120重量部加え、乾式にてボールミル中で8時間混合を行った。混合を行った粉末を所定の金型に充填し、1平方cmあたり3tの荷重に調整した1軸プレスにて加圧を行い成形体を得た。その後、成形体を水素12.5体積%、窒素87.5体積%のフォーミングガス気流中で、組成に応じて1200~1350℃の炉中に2時間保持し、材料を焼結させた。この焼結体を所定寸法に切りだした後、上下面を研磨し、放熱体とした。そして、これらの放熱体を上記のガラスエポキシ複合材料製の基板に対してはエポキシ樹脂系接着剤により、ガラスセラミック複合材料製の配線基板に対しては高温の半田付けにて接合した。また、半導体素子の放熱体への取付は、エポキシ系樹脂接着剤により行っ

*た。

【0045】(試験)上記のようにして作製された半導体装置に対して、基板自体の反りなどを含む寸法変化量、および放熱体と絶縁基板との接合部周辺でのクラックの有無について調べた。

【0046】また、この半導体装置をガラスエポキシ樹脂の表面に銅箔の配線導体が形成された複合基板からなる外部電気回路基板(0~400℃熱膨張係数13ppm/℃)に半田により実装した後、これを-40℃と125℃の恒温槽に15分/15分の1サイクルとして、熱サイクル試験を行い電気抵抗に変化が現れるまでのサイクル数を表2に示した。

【0047】

【表2】

試料 No.	絶縁基板 材料	絶縁基板 熱膨張係数 (ppm/℃)	放熱体組成 (重量%)			放熱体物性 熱膨張率 熱伝導率 (ppm/℃) (W/m・K)		反り クラックの 発生の有無	熱サイクル 試験
			W	Cu	Ni				
1			53.7	44.3	2.0	12.8	240	反り50μ以下	> 500
* 2	ガラスセラミック	12.7	—	100	—	17.1	393	反り210 μ	> 500
* 3			79.0	20.0	1.0	8.9	177	反り160 μ	> 500
4	ガラスセラミック	13.1	50.1	47.9	2.0	13.1	245	反り50μ以下	> 500
5			44.4	54.6	1.0	13.8	258	反り50μ以下	> 500
* 6	ガラスセラミック	13.7	63.3	34.7	2.0	11.5	217	反り160 μ	> 500
7			63.3	34.7	2.0	11.5	217	クラック無し	> 500
* 8	ガラスセラミック ③	11.5	84.9	14.1	1.0	8.0	164	接合部近辺で クラック発生	> 500
* 9			14.5	85.0	0.5	16.2	307	接合部近辺で クラック発生	> 500
*10	ガラスセラミック ①	7.5	84.9	14.1	1.0	8.0	164	クラック無し	150
11	ガラスセラミック ④	13.0	53.7	44.3	2.0	12.8	240	クラック無し	> 500
12	ガラスセラミック ⑤	14.0	44.4	54.6	1.0	13.8	258	クラック無し	> 500
*13	ガラスセラミック ②	9.5	77.8	21.2	1.0	9.3	182	クラック無し	> 500

*印は本発明の範囲外の試料を示す。

【0048】表2からも明らかなように、絶縁基板と放熱体との熱膨張差の絶対値が0.5ppm/℃よりも大きい試料No.2、3、6、8では、いずれも、反りが大きくなったり、絶縁基板にクラックが発生する等を弊害が生じた。また、絶縁基板としての熱膨張係数が7.5ppm/℃の試料No.10では、外部電気回路基板との熱膨張差が起因する応力により、熱サイクル試験で電気抵抗の変化が認められ、十分な信頼性の高いものではなかった。

【0049】また、放熱体の組成において、Cuの含有量が30重量%より少ない試料No.3、13では、熱膨張係数が9ppm/℃より小さくなるか、または熱伝導率が200W/m・Kより低くなり、80重量%を越え

※る試料No.9では、熱膨張係数が14ppm/℃を越えるものとなった。

40 【0050】これに対して、絶縁基板の熱膨張係数が9~14ppm/℃の範囲で、放熱体との熱膨張差を絶対値で0.5ppm/℃以下とすることにより、反りやクラックの発生が解消されると同時に、外部電気回路基板への実装においても熱サイクルに対して高い信頼性を有するものであった。しかも、放熱体として30~80重量%のCuを含有するものは、いずれも200W/m・K以上の高い熱伝導率一示した。

【0051】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、高熱膨張係数の絶縁基板を有するために、有機樹脂を主

※50

11

12

成分とする外部電気回路基板への実装においても高い信頼性を有すると同時に、さらに絶縁基板との熱膨張差の小さい放熱体を具備するために、基板と放熱体との熱膨張差に起因する応力の発生を抑制し、反りやクラックの発生がなく、且つ高い放熱特性を有する半導体装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の半導体装置と、外部電気回路基板への実装構造を説明するための概略図である。

【符号の説明】

- 1 半導体装置
2 絶縁基板

- * 3 配線層
4 スルーホール
5 キャビティ
6 蓋体
7 放熱体
8 接着剤
9 半導体素子
10 端子電極
11 外部電気回路基板
12 外部配線層
13 半田

*

【図 1】

